

# KAJIAN PENGGUNAAN HDM-4 UNTUK SISTEM PENGELOLAAN PERKERASAN JALAN DI INDONESIA

**M. Tranggono**

Program Doktor Teknik Sipil  
Universitas Katolik Parahyangan  
Jalan Merdeka 30 Bandung  
Tlp. 022-7834365  
tranggono@pusjatan.pu.go.id

## Abstract

Indonesia has been developed Integrated Indonesian Road Management System (IIRMS) since 1990's as a tool for the management of the national road network. As the development of technology and the needs of the Pavement Management System (PMS) getting complicated and dynamic, IIRMS is left behind and, therefore, should be developed or should be replaced with another system. This study carried out to provide recommendations regarding use of PMS the better. The results show that HDM-4 (Highway Development and Management, 4th generation) can be fully used, for all of its applications and not only adopting several parts of the model, as used today. IIRMS, HDM-4 can be used together as a hybrid system for the PMS in Indonesia. HDM-4 is used as the main support for an investment decision and IIRMS is used as supporting for reporting.

**Keywords:** HDM-4, IIRMS, pavement management system

## Abstrak

Indonesia telah mengembangkan *Integrated Indonesian Road Management System* (IIRMS) sejak tahun 1990-an sebagai alat bantu pengelolaan jaringan jalan nasional. Dengan berkembangnya teknologi dan kebutuhan Sistem Manajemen Jalan (SMJ) yang semakin kompleks dan dinamis, IIRMS sudah ketinggalan dan harus dilakukan pengembangan lebih lanjut atau digantikan dengan sistem lain. Kajian ini dilakukan untuk memberikan rekomendasi tentang penggunaan SMJ yang lebih baik. Hasil kajian menunjukkan bahwa HDM-4 (*Highway Development and Management*, generasi ke-4) dapat digunakan sebagai alternatif pengelolaan perkerasan jalan di Indonesia. Penggunaan HDM-4 bukan hanya sekedar mengadopsi beberapa model, seperti yang dilakukan saat ini, melainkan memanfaatkannya sepenuhnya program aplikasi HDM-4 tersebut. IIRMS, HDM-4 dapat digunakan bersama-sama sebagai *hybrid system* sebagai SMJ di Indonesia. HDM-4 digunakan sebagai pendukung utama pengambil keputusan investasi jalan, sedangkan IIRMS digunakan sebagai pendukung untuk penyampaian laporan.

**Kata-katakunci:** HDM-4, IIRMS, sistem manajemen jalan

## PENDAHULUAN

Sesuai dengan yang diamanatkan pada Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004, Tentang Jalan, penyelenggara jalan mempunyai tugas untuk melakukan pengaturan, pembinaan, pembangunan, dan pengawasan sesuai dengan kewenangannya masing-masing. Khususnya untuk penyelenggaraan jalan nasional, Ditjen Bina Marga telah bertahun-tahun melaksanakan tugas tersebut dengan menggunakan Sistem Manajemen Jalan (SMJ), yaitu Sistem Manajemen Jalan Terpadu Indonesia (*Integrated Indonesian*

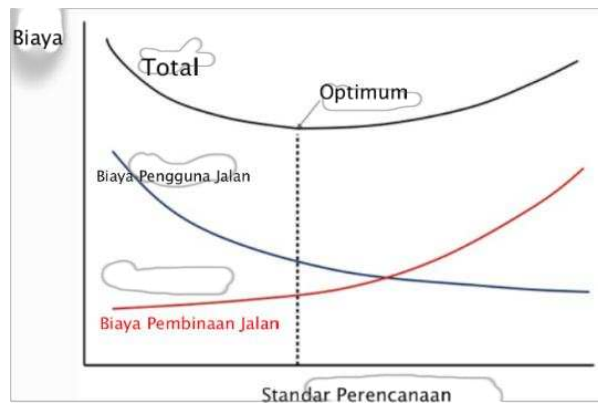
*Road Management System*, IIRMS). Namun sekarang sistem tersebut sudah ketinggalan dan harus dilakukan pengembangan. Saat ini IIRMS telah mencapai suatu titik persimpangan teknis apakah perlu dikembangkan lebih lanjut atau digantikan dengan sistem lain.

Terkait dengan kebutuhan pengembangan IIRMS, perlu dikaji kembali SMJ yang cocok dengan kondisi sekarang dan kondisi mendatang di Indonesia. Salah satu alternatif yang dapat direkomendasikan adalah dengan menggunakan perangkat lunak *Highway Development and Management* (HDM-4), yang mempunyai pendekatan yang sistematis, digunakan sebagai alat bantu pengambil keputusan dalam pengelolaan investasi jalan di Indonesia. HDM-4 telah dikembangkan oleh *World Bank* lebih dari dua dekade dan banyak digunakan di berbagai negara serta dapat menjawab tuntutan global di sektor jalan yang semakin kompleks. Penggunaan HDM-4 sudah terbukti handal untuk sistem pengelolaan jalan.

Untuk itu, program aplikasi HDM-4 perlu dieksplorasi lebih lanjut sebagai kajian awal untuk kemungkinan digunakan di Indonesia, sebagai alternatif untuk menggantikan IIRMS. Kajian yang dilakukan tersebut terbatas pada kegiatan dibelakang meja dan dilakukan dengan menggunakan literatur yang terkait dengan HDM-4. Kajian tersebut meliputi menguraikan lebih lanjut mengenai HDM-4 yang diperoleh berdasarkan literatur yang ada, membandingkan manfaat serta kekurangan HDM-4 dengan IIRMS, dan melihat kesesuaian HDM-4 dengan fungsi SMJ yang dilakukan untuk pengelolaan jalan pada umumnya. Hasil pembahasan tersebut diharapkan akan menjawab tuntutan perkembangan kebutuhan SMJ di Indonesia.

Agar jalan dapat berfungsi dengan baik, perlu dilakukan pengelolaan jalan dengan baik dan benar serta memperlakukan jalan tersebut sebagai suatu aset. Pengelolaan jalan dilakukan dengan mempertahankan dan meningkatkan jaringan jalan sehingga dapat digunakan sepanjang tahun secara efisien, aman, serta memperhatikan faktor lingkungan (Paterson, 1994). Robinson et al. (1998) menyebutkan bahwa jalan, sebagai aset, perlu dikelola dengan pendekatan bisnis, yang merupakan tugas-tugas yang harus dilaksanakan pada suatu proses manajemen. Baik Paterson (1994) dan Robinson et al. (1998) menyebutkan bahwa pengelolaan jalan tersebut dimaksudkan untuk mengoptimalkan seluruh kinerja jaringan jalan setiap saat.

World Bank menyebutkan bahwa ada tiga tujuan utama pengelolaan jalan, yaitu mempertahankan kondisi agar jalan tetap berfungsi, mengurangi tingkat kerusakan jalan, dan memperkecil biaya operasional kendaraan. Dengan kondisi jalan yang baik, suatu wilayah menjadi tidak terisolasi dan tingkat kerataan jalan dapat dipertahankan sehingga biaya operasi kendaraan tidak meningkat. Lebih spesifik lagi, seperti yang disampaikan oleh Kerali (2011), tujuan pengelolaan jalan adalah untuk melakukan optimalisasi keseluruhan biaya transportasi sehingga dapat ditentukan standar perancangan pengelolaan jalan yang akan diaplikasikan. Hubungan ini diilustrasikan pada Gambar 1.



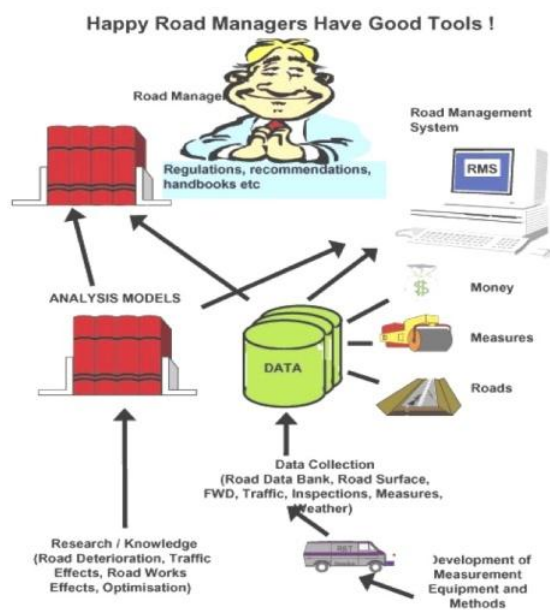
**Gambar 1** Konsep Pembiayaan Transportasi yang Optimal (Kerali, 2011)

Biaya transportasi terdiri atas dua komponen, yaitu biaya pembina jalan (*road agency cost, RAC*) dan biaya pengguna jalan (*road user cost, RUC*). Kedua komponen tersebut mempunyai *trend* yang berbeda terhadap penerapan standar yang digunakan. Semakin tinggi standar perancangan pengelolaan jalan, semakin tinggi biaya yang dibutuhkan untuk pembinaan jaringan jalan tersebut. Namun akibat kondisi jaringan jalan yang baik, biaya operasional pengguna jalan akan rendah dan pada akhirnya akan menyebabkan penurunan biaya pengguna jalan. Biaya transportasi, yang merupakan penjumlahan kedua komponen tersebut, akan berbentuk parabola terbalik dan mempunyai titik balik yang merupakan nilai optimum untuk menetapkan standar yang akan digunakan dalam pembinaan jaringan jalan. Untuk mencapai tujuan pengelolaan jalan dengan baik, Robinson et al (1998) menjelaskan bahwa kegiatan pengelolaan jalan harus dilakukan melalui tahapan-tahapan yang rasional dan terpadu dengan menggunakan Sistem Manajemen Jalan (SMJ) dengan tahapan-tahapan ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1** Tahapan Pengelolaan Jalan (Robinson et al., 1998)

Tahapan	Tujuan Pengelolaan	Lingkup Jaringan	Rentang Waktu	Personil Pengelolaan
Perencanaan	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menentukan standar jalan yang meminimalkan biaya.</li> <li>Menentukan biaya yang dibutuhkan untuk mendukung standar yang telah didefinisikan.</li> </ul>	Seluruh jaringan jalan	Jangka panjang (strategis)	Pengelola senior dan pengambil keputusan
Pemrograman	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menentukan program pekerjaan yang dilaksanakan dalam periode waktu anggaran.</li> </ul>	Ruas jalan atau segmen	Jangka menengah (taktis)	Pengelola dan pemegang anggaran
Persiapan	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desain Teknis</li> <li>Dokumen kontrak</li> </ul>	Kontrak atau paket pekerjaan	Tahun anggaran	Staf Teknis dan Panitia Tender
Pelaksanaan	<ul style="list-style-type: none"> <li>Melaksanakan tugas-tugas sebagai bagian dari aktivitas pekerjaan</li> </ul>	Sub seksi tempat pekerjaan harus dilaksanakan	Sesaat	Pengawas Lapangan

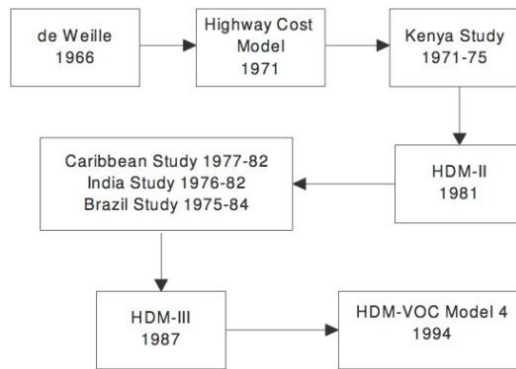
Huang (2012) mendefinisikan SMJ adalah suatu alat atau metode yang digunakan untuk mengambil keputusan dalam pembinaan jalan dengan mencari strategi yang optimal dalam menyediakan, melakukan evaluasi, dan memelihara perkerasan dengan suatu kondisi pelayanan tertentu dalam suatu periode tertentu. Untuk menghasilkan keputusan optimal tersebut diperlukan pendekatan rasional dan efektif terhadap biaya dengan menggunakan elemen-elemen, yang meliputi pengumpulan informasi jalan, pangkalan data, penelitian, dan analisis model. Interaksi antar elemen yang mendukung kegiatan sistem pengelolaan jalan, secara sederhana, dapat ditunjukkan pada Gambar 2. SMJ digunakan untuk memudahkan pengelolaan jaringan jalan yang mencakup ribuan kilometer dengan karakteristik, pemanfaatan, dan kondisi yang berbeda-beda. Sistem ini memungkinkan pengelola jalan memantau jaringan jalan tersebut secara efisien.



**Gambar 2** Interaksi Elemen pada Sistem Pengelolaan Jalan (Tranggono, 2004)

## SISTEM PEMELIHARAAN DAN PENGEMBANGAN JALAN OLEH BANK DUNIA

Pada tahun 1989, untuk pertama kalinya, Bank Dunia mengembangkan program aplikasi komputer yang digunakan untuk sistem pemeliharaan dan pengembangan jalan yang dikenal dengan Highway Development and Maintenance System (HDM). HDM mempunyai beberapa standar model untuk melakukan investigasi secara ekonomi suatu investasi infrastruktur jalan. Model ini digunakan secara luas oleh para konsultan, lembaga peminjam, dan pembina jalan di 60 negara yang berbeda (Bennett, 1994). Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3, kegiatan tersebut diawali pada tahun 1966, dengan inisiatif dari de Weille dari Bank Dunia dengan membuat kerangka kerja untuk “*Highway Design Study*” yang kemudian menugaskan kelompok dari *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) dan berhasil membuat *Highway Cost Model* pada tahun 1971.

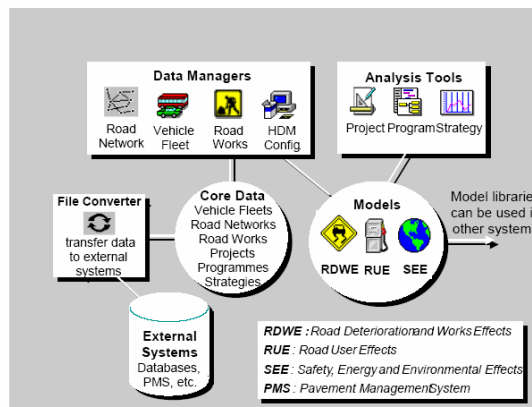


**Gambar 3** Perkembangan Model HDM (Bennet, 1994)

Model dasar yang digunakan HDM-III untuk melakukan investigasi jalan merupakan interaksi antara biaya jalan, biaya pemeliharaan, dan Biaya Operasional Kendaraan (BOK). Pengembangan model tersebut dilakukan dengan studi lapangan utama di Kenya (1971-1975), Karibia (1977-1982), dan India (1977-1983). Validasi seluruh model dilakukan di Brazil (1975-1985). Kemudian pada tahun 1987 diperkenalkan HDM-III dengan model yang lebih baik dan mudah digunakan, yaitu dengan program aplikasi yang *user-friendly*. Namun dalam penggunaannya masih terdapat kekurangan, sehingga pada tahun 1994 diperkenalkan HDM-4.

Cakrabarti (1994) menyebutkan beberapa kekurangan HDM-III, yang diantaranya adalah terbatasnya ruang lingkup, standar pemeliharaan, kriteria intervensi pemeliharaan, dan efek pemeliharaan. Demikian juga dengan Bennet (1994), yang menyebutkan beberapa kekurangan pada model penurunan kinerja dan efek pemeliharaan jalan belum mengakomodasi perkerasan kaku dan jenis perkerasan dan penanganan pemeliharaan lainnya yang ditemui dinegara berkembang atau di negara maju. Beberapa komponen pembiayaan, sebagai contoh depresiasi dan utilitas, yang dimodelkan sangat sederhana. Demikian juga beberapa faktor lain yang belum dipertimbangkan dalam HDM-III, seperti tekstur perkerasan, kemacetan, dan lingkungan.

HDM-4 (*Highway Development and Management*, generasi ke-4) dikembangkan untuk menjawab tuntutan global di sektor jalan yang semakin kompleks, yang mencakup keselamatan jalan, lingkungan, dan energi, selain aspek manajemen. Gambar 4 diilustrasikan struktur modul-modul yang ada pada HDM-4, yaitu: (i) *HDM Config*, untuk mendefinisikan data standar yang akan digunakan dalam aplikasi, dengan satu set data default disediakan HDM-4 saat pertama kali diinstal, namun pengguna harus memodifikasi untuk mencerminkan lingkungan dan keadaan yang sebenarnya; (ii) *Road Network*, untuk mendefinisikan karakteristik fisik ruas jalan dalam jaringan atau sub-jaringan untuk dianalisis; (iii) *Vehicle Fleet*, digunakan untuk mendefinisikan karakteristik armada kendaraan yang beroperasi di jaringan jalan untuk dianalisis; dan (iv) *Road Works*, untuk mendefinisikan standar pemeliharaan dan perbaikan, bersama-sama dengan biaya per unit didalamnya, yang akan diterapkan pada ruas jalan yang berbeda.



**Gambar 4** Arsitektur Sistem HDM-4 (Kerali, 2001)

Robinson et al. (1998) menyatakan bahwa penggunaan HDM-4 adalah untuk evaluasi proyek dan analisis manajemen jalan serta investasi strategi pembinaan jalan, dimana merupakan pengembangan dari HDM III yang hanya terbatas pada evaluasi proyek saja. Beberapa perbedaan lainnya, seperti yang disebutkan Kerali (2000), adalah aplikasi komputer menggunakan sistem operasi Window yang lebih fleksibel sehingga mudah digunakan, masukan pada analisis yang dapat langsung menggunakan data hasil pengujian dengan *Falling Weight Deflectometer* (FWD), pilihan analisis yang dikembangkan untuk tingkat strategis serta pemrograman, dan definisi armada kendaraan yang fleksibel serta serbaguna. Kerali et al. (1994) merekomendasikan penggunaan HDM-4 ini untuk memudahkan pembina jalan dalam melakukan penilaian proyek, pemrograman dan penganggaran untuk keseluruhan jaringan jalan, melakukan analisis untuk mengembangkan standar dan kebijakan, dan untuk penelitian di bidang jalan.

## **SISTEM MANAJEMEN JALAN TERPADU DI INDONESIA**

Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum, selaku pembina jalan nasional di Indonesia, telah mengembangkan *Integrated Road Management System* (IRMS) sejak tahun 1989. Sistem tersebut digunakan sebagai alat bantu dalam bentuk aplikasi komputer untuk pengelolaan jalan nasional dan jalan provinsi. Pengembangan IRMS ini didasarkan pada model HDM-III, untuk menetapkan evaluasi ekonomi dan peringkat peningkatan dan pemeliharaan jalan (Tyrone and Mahmud, 1994; Hutabarat, 1994; Departemen Pekerjaan Umum, 1995). Pengembangan IRMS ini dimaksudkan untuk penyeragaman sistem, karena sebelumnya setiap institusi penyandang dana selalu membawa sistemnya masing-masing.

Sebagai upaya untuk menyempurnakan aplikasi IRMS, pada tahun 2006 dikembangkan aplikasi *Indonesian Integrated Road Management System* (IIRMS) dengan menambahkan beberapa modul dan beroperasi dalam versi Window serta memiliki

kemampuan untuk menunjukkan data pada peta dengan menggunakan *Geographical Information System* (GIS). Untuk membandingkan biaya instansi pengelola jalan dan biaya pengguna jalan digunakan dua modul utama, yaitu modul penyusunan program dan modul perencanaan pengeluaran strategis. Modul penyusunan program menghasilkan sebuah daftar proyek pekerjaan yang diusulkan untuk bagian-bagian jalan tertentu serta menentukan waktu dan biaya dalam rentang tiga sampai lima tahun. Sedangkan modul perencanaan pengeluaran strategis memproyeksikan kinerja jaringan jalan di masa depan dengan menggunakan berbagai asumsi untuk tingkatan dan jenis pemeliharaan yang dilakukan selama jangka waktu tersebut.

Kajian yang dilakukan oleh Hede (2011) menunjukkan bahwa terdapat banyak kekurangan pada IIRMS, sehingga diperlukan perbaikan dan peningkatan. Kekurangan tersebut terkait dengan kualitas data, perangkat lunak, dan belum efektifnya *output* sistem tersebut untuk penyusunan rencana dan program. Demikian juga model yang digunakan tersebut masih sederhana atau ketinggalan zaman, belum sepenuhnya mengikuti HDM-4 dan belum mencakup penurunan kinerja untuk perkerasan beton semen. Saat ini IIRMS telah mencapai suatu titik persimpangan teknis apakah perlu dikembangkan lebih lanjut atau digantikan dengan sistem lain. Pemanfaatan IIRMS perlu ditinjau kembali guna mendukung kebutuhan pengelolaan jalan saat ini dan mendatang dengan menggunakan sistem baru yang bersifat *commercial-off-the shelf* (COTS), yang dalam hal ini menggunakan HDM-4.

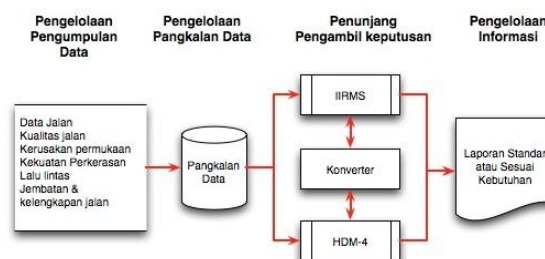
## **PENGUNAAN HDM-4 DI INDONESIA**

Pada saat ini penggunaan HDM-4 di Indonesia masih terbatas pada beberapa staf di Direktorat Jenderal Bina Marga dan Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. Pemanfaatannya belum dilembagakan dan masih digunakan terbatas pada kajian akademis sebatas pada karya tulis ilmiah. Terkait dengan dengan konsep pengelolaan jalan yang disampaikan oleh Robinson et al. (1998), penggunaan aplikasi HDM-4 sejalan dengan proses pengelolaan jalan yang meliputi perencanaan, pemrograman, dan persiapan. Hanya proses operasional saja yang belum dicakupnya.

Mengingat bahwa HDM-4 merupakan penyempurnaan HDM III dan persamaan-persamaan model yang ada tersebut memungkinkan digunakan untuk wilayah tertentu yang sebelumnya dilakukan melalui proses kalibrasi, maka sudah seharusnya pengembangan untuk SMJ tidak diarahkan untuk pengembangan persamaan model yang baru seperti yang dilakukan pada pengembangan IIRMS, karena hal ini akan membutuhkan usaha yang besar dan mahal. Usaha pengembangan yang dilakukan harus lebih kearah pengembangan kalibrasi agar model yang sudah dikembangkan oleh HDM-4 dapat sesuai dengan kondisi di Indonesia. Belajar dari pengalaman Indonesia dalam mengembangkan IIRMS, seharusnya pengembangan SMJ kedepan lebih kearah pengembangan kalibrasi model agar dapat digunakan sesuai dengan wilayah-wilayah yang ada di Indonesia. SMJ dapat menggunakan sistem baru yang bersifat COTS, yang dalam hal ini adalah menggunakan HDM-4.

HDM-4 dapat digunakan sebagai landasan penilaian kinerja pembina jalan untuk mendorong efisiensi pengelolaan infrastruktur jalan di Indonesia, sehingga dapat diusulkan untuk mewajibkan setiap pembina jalan di Indonesia membuat laporan tahunan kinerja pengelolaan jaringan jalan yang berisi penetapan kinerja yang ada dan memperkirakan investasi masa depan. Elemen dalam laporan, yang dapat disiapkan dengan menggunakan HDM-4, meliputi: (i) Indikator Kinerja Utama (IKU); (ii) tujuan lima tahunan pembinaan jalan; (iii) rencana pengelolaan aset tahunan; dan (iv) rencana pembiayaan. Agar HDM-4 dapat digunakan dengan baik di Indonesia, HDM-4 tersebut harus dilembagakan dan disesuaikan dengan kondisi di Indonesia. Kelembagaan tersebut dimaksudkan agar terdapat jaminan pendanaan yang akan mendukung pemanfaatan teknologi, sumber daya manusia, dan sistem itu sendiri. Sedangkan penyesuaian yang harus dilakukan tersebut mencakup jaminan mutu pengumpulan data dan verifikasi atau kalibrasi model-model yang digunakan.

HDM-4 dapat digunakan di Indonesia dengan beberapa pertimbangan, yaitu: (i) pengembangan dan pemeliharaan sistem tersebut lebih murah; (ii) peningkatan sistem tersebut selalu memanfaatkan masukan pengguna yang bersifat internasional; (iii) pemutahiran selalu dilakukan karena banyak digunakan instansi pengelola selama bertahun-tahun; dan (iv) program pelatihan yang telah terbukti dan efisien. Hasil kajian McPherson and Bennet (2005) telah membuktikan bahwa sistem yang dikembangkan secara COTS lebih baik dipilih dari pada sistem berdasarkan pesanan. Dengan demikian rekomendasi penggunaan HDM-4 sebagai alternatif SMJ di Indonesia sudah tepat dan sesuai dengan hasil kajian yang ada.



**Gambar 5** Konsep Pengembangan Hybrid System HDM-4 dan IIRMS

Hede (2011) menyebutkan bahwa penggunaan sistem yang bersifat COTS lebih menguntungkan dibandingkan sistem yang dibuat berdasarkan pesanan (*customized*). Dengan demikian penggunaan HDM-4 di Indonesia diharapkan akan lebih baik dibandingkan dengan terus mengembangkan dan memelihara IIRMS yang bersifat *customized*. Namun demikian mengingat biaya yang sudah banyak dikeluarkan untuk mengembangkan IIRMS, sudah selayaknya sistem yang ada tersebut tidak ditinggalkan begitu saja. Salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah membuat sistem yang merupakan penggabungan IIRMS dan HDM-4 yang kemudian disebut dengan *hybrid system*, yang dapat digunakan bersamaan, seperti diilustrasikan pada Gambar 5. Kedua



sistem tersebut digunakan bersamaan dan dapat saling membagi data atau informasi dengan menggunakan konverter sehingga dapat menghasilkan laporan standar sesuai kebutuhan.

Pangkalan data yang selama ini sudah dikumpulkan pada IIRMS perlu ditinjau kembali untuk menyesuaikan dengan kebutuhan pembina jalan dan kebutuhan data pada HDM-4. Untuk mendukung *hybrid system* tersebut, IIRMS perlu dimodifikasi agar dapat menggunakan data keluaran atau pangkalan data berdasarkan HDM-4. Pangkalan data tersebut dibutuhkan juga untuk menyempurnakan model yang digunakan. Semakin banyak data yang baik, akan semakin baik dalam meningkatkan ketepatan memprediksi kinerja perkerasan dan konsumsi pengeluaran biaya kendaraan, karena kualitas data keluaran yang dihasilkan HDM-4 sangat bergantung pada kualitas data masukan dan kesesuaian model yang digunakan yang diperoleh berdasarkan hasil kalibrasi.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pembahasan yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Aplikasi HDM-4 dapat menjawab kebutuhan fungsi manajemen jalan yang meliputi perencanaan, pemrograman, dan persiapan.
2. Sesuai dengan tuntutan global dan kondisi saat ini, HDM-4 dapat digunakan sebagai alternatif SMJ di Indonesia sebagai alat bantu pengambil keputusan dalam investasi jalan. HDM-4 dan IIRMS dapat digunakan bersama-sama sebagai *hybrid system* SMJ di Indonesia, sehingga informasi yang selama ini telah dikumpulkan tetap dapat dimanfaatkan.
3. HDM-4 sebagai sistem yang bersifat COTS lebih menguntungkan dibandingkan dengan sistem yang dibuat berdasarkan pesanan (*customized*). Beberapa manfaat penggunaan HDM-4 sebagai alternatif pengelolaan jalan di Indonesia, antara lain adalah:
  - a. Sistem tersebut handal dan lebih murah untuk pemeliharaan dan pengembangannya. Hal ini dikarenakan pengembangannya melibatkan berbagai negara, berdasarkan masukan pengguna yang luas, dan dilengkapi dengan program pelatihan yang telah terbukti dan efektif.
  - b. Sistem tersebut kokoh dan fleksibel karena digunakan banyak instansi pengelola jalan selama bertahun-tahun dan selalu dilakukan pemutahiran, serta kompatibel dengan konsep pengelolaan jalan modern yang melibatkan tahapan perencanaan, pemrograman, dan persiapan. Hanya untuk tahapan operasional saja yang belum dapat dilakukan pada HDM-4.
  - c. Sistem tersebut mutakhir secara teknologi dan dapat menghasilkan keluaran-keluaran, seperti analisis kecelakaan, emisi kendaraan, analisis kriteria berganda, analisis sensitivitas, analisis skenario penganggaran, analisis kelayakan pembangunan infrastruktur jalan baru, dan penilaian aset.

Berdasarkan studi ini dapat disampaikan saran-saran sebagai berikut:

1. Untuk dapat digunakan dengan baik, perlu dilakukan kajian dan pengembangan yang terkait dengan proses kalibrasi model HDM-4. Proses kalibrasi ini merupakan proses yang kritis dalam penerapan HDM-4 di Indonesia.
2. Diperlukan kajian lebih lanjut mengenai pengembangan *hybrid system* HDM-4 dengan IIRMS sehingga proses pertukaran data dan hasil analisis nantinya dapat digunakan dengan lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum. 1995. *Biaya Operasi Kendaraan (BOK) untuk Jalan Perkotaan di Indonesia*. Direktorat Jenderal. Jakarta.
- Hede, J.C.H. 2011. *Memfaatkan Sistem Manajemen Jalan Secara Maksimal*. Jurnal Prakarsa Infrastruktur Indonesia, Edisi 5 Januari 2011. Jakarta.
- Huang, Y.H. 2012. *Pavement Analysis and Design*. Pearson Education International. New York, NY.
- Hutabarat, J. 1994. *Institutional Impact on Implementing The Integrated Road Management System*. Proceeding of The International Workshop on HDM-4, Kuala Lumpur.
- Kerali, H.G. 2001. *Overview of HDM-4*. Highway Development and Management, Volume One. International Study of Highway Development and Management Tools (ISOHDM), Birmingham.
- McPherson, K. and Bennet, C.R. 2005. *Success Factors for Road Management Systems*. East Asia Pacific Transport Unit, The World Bank, Washington, DC.
- Paterson, W.O. 1994. *Highway Development and Management: A Vision of What We Need To Do A Better Job*. Proceeding of the International Workshop on HDM-4, Kuala Lumpur.
- Paterson, W.O. and Okine, B.A. 1992. *Summary Models of Paved Road Deterioration Based on HDM-III*. Transportation Research Record 1344, pp 99-105. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2004. *Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004, Tentang Jalan*. Jakarta.
- Robinson, R., Danielson, U., and Snaith, M. 1998. *Road Maintenance Management—Concepts and Systems*. Palgrave, NY.
- Tranggono, M. 2004. *Teknik Pengelolaan Jalan—Seri Pemeliharaan Jalan Kabupaten*. Pusjatan, Bandung.
- Toole, T. and Mahmud, S. 1994. *The Development of Deterioration Models For Bituminous Overlay Indonesia*. Proceeding of the International Workshop on HDM-4, Kuala Lumpur.